

磁気相転移点近傍における超音波吸収に対する磁場効果

著者	前川 禎通
号	461
発行年	1975
URL	http://hdl.handle.net/10097/23973

氏名・（本籍）	まえ かわ さだ みち 前 川 禎 通
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 第 4 6 1 号
学位授与年月日	昭和50年 4月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
最終学歴	昭和46年3月 大阪大学大学院理学研究科 （修士課程）物理学専攻修了
学位論文題目	磁気相転移点近傍における超音波吸収に対する 磁場効果
論文審査委員	（主査） 教 授 立 木 昌 教 授 糟 谷 忠 雄 助 教 授 小 松 原 武 美

論 文 目 次

第1章	序 論
第2章	超音波吸収係数の導出
第3章	磁場中での超音波吸収係数
第4章	低磁場での性質
第5章	Mn Pへの応用
i)	H//C 軸
ii)	H//磁化困難軸
第6章	T b への応用
i)	T b の性質
ii)	超音波吸収係数
iii)	超音波吸収係数の計算
結 語	
付 録	
文献及び注釈	図

論文内容要旨

第1章 序 論

音波と Spin 系の臨界揺動との相互作用のために現われる二次磁気相転移点での超音波吸収の λ 型の異常に対し、多くの理論的研究が行われ、2つの model に整理された；第1の model では、音波が磁気秩序変数の揺動と相互作用することにより異常が現われる。第2の model では、超音波吸収の臨界異常は音波と磁気エネルギーの揺動との相互作用に求められる。臨界指数に対する計算値と実験値との定量的な比較から、長距離交換相互作用を持つ metallic な磁性体（稀土類金属等）では第1の model が対応し、短距離交換相互作用を持つ絶縁体的磁性体（ MnF_2 ， RbMnF_3 ）では第2の model が当てはまることが結論されている。

臨界指数の研究と平行して行われてきた実験的研究は、磁気相転移点近傍における超音波吸収の磁場効果である。磁場は超音波吸収に大きな影響を与えるにもかかわらず、その現象の複雑さのために統一的な理解が得られていなかった。本論文では、上記の第1の model に基き、二次磁気相転移点近傍における超音波吸収の磁場効果を理論的に研究した。

第2章 超音波吸収係数の導出

Kubo の線型応答理論を使い、系の揺動とエネルギー散逸の一般的関係を示した。この関係を使って Spin と音波の相互作用による磁場中での超音波吸収係数が次のごとく求められた。

$$\alpha_k = (2\rho V v_l)^{-1} [4 |g_0(k)|^2 \langle S_0^z \rangle^2 \text{Re} \int_0^\infty dt e^{iW_k t} (S_{-k}^z(0), S_k^z(t)) \\ + \sum_{\alpha} \sum_{\alpha'} \sum_q \sum_{q'} g_q(k) g_{q'}^*(k) \text{Re} \int_0^\infty dt e^{iW_k t} \\ \times (S_{q-k}^{\alpha'}(0) S_{-q}^{\alpha'}(0), S_q^{\alpha}(t) S_{k-q}^{\alpha}(t))],$$

$$\begin{cases} \alpha, \alpha' = x, y, z \\ \rho: \text{結晶の密度}, \quad V: \text{結晶の体積}, \quad v_l: \text{音速} \end{cases}$$

$$g_q(k) = \sum_j i k B_{ij} \exp(i\vec{q} \cdot \vec{R}_{ji}),$$

$$S_q^{\alpha} = N^{-1/2} \sum_i S_i^{\alpha} \exp(i\vec{q} \cdot \vec{R}_i), \quad N: \text{磁気イオンの数},$$

但し、 S_i^{α} は \vec{R}_i 格子点の Spin の α 成分、 B_{ij} は Spin とひずみの coupling の強さを示す定数、 $\langle S_0^z \rangle$ は各格子点の Spin 分極の \sqrt{N} 倍、 k, W_k は音波の波数及び周波数、 (\cdot, \cdot) は Kubo の canonical 相関関数を示している。また、磁場は z 方向に印加されている。

るとした。このように、第1項は静的Spin分極と磁場方向の2-Spinの動的相関々数を積の形で含み、第2項は4-Spinの動的相関々数で表わされる。第1項は静的Spin分極が存在する時にのみ現われ、磁場中での吸収係数の増加に寄与する。一方、磁場はSpinの揺ぎを抑えるため、第2項は磁場中での吸収係数の減少に導く。

第3章 磁場中での超音波吸収係数

以下の議論では、metallicな磁性体に主眼を置き、絶縁体的磁性体には定性的な考察が与えられる。それ故、吸収係数の第2項に現われる4-Spinの動的相関々数を2-Spinの動的相関々数の積にdecoupleする。さらに、metallicな磁性体ではSpinの減衰定数は波数依存帯磁率に逆比例するということを使う時、吸収係数はSpinの運動の固有周波数を含まず、静的Spin分極及び波数依存帯磁率のみの関数になる。分子場近似を使って得られた波数依存帯磁率を使い、吸収係数の具体的な表式を得た。

第4章 低磁場での性質

第3章で得られた吸収係数の表式を使い、常磁性相で測定されたDy, Ho, Gd, MnP, MnF₂の磁場効果の実験の定性的な説明を行った。上記の吸収係数の第1項は磁場の2乗で増加し、第2項は磁場の2乗で減少する。今、両項の磁場の2乗の係数が等しくなる温度を補償温度と呼ぶ時、補償温度以上では吸収係数は磁場により増加し、それ以下では磁場により減少する。この温度は交換相互作用の到達距離の関数であり、交換相互作用が長距離的であるほど補償温度は磁気相転移点に近くなる。このように、超音波吸収係数の磁場依存性から交換相互作用の到達距離の目安を得ることができる。

第5章 MnPへの応用

Komatsubara-Ishizaki-Kusaka-HiraharaはMnPにおいて補償温度以上の一定温度で、吸収係数の磁場変化を測定し、次の結果を得た。吸収係数は磁場の2乗に比例して増加し始め、ある磁場の値で最大値に達し、さらに磁場を増大すると吸収係数は減少する。吸収の最大点は温度の増加とともに高磁場側にずれる。吾々は、上記の理論をMnPに応用し、理論と実験の定量的な一致を得た。

Komatsubara等はMnPの磁化困難軸に磁場を印加し、磁気相転移点での超音波吸収の山に加えて、今まで均一相と考えられていた常磁性相で異常な吸収の山を実験的に見出した。吾々は、この異常な吸収の山は、磁場方向のSpinの揺ぎの変化に対応していることを明らかにした。

すなわち，磁気相転移点では磁化容易軸方向のSpinの揺ぎが発散するため，吸収係数の第2項は発散し臨界異常に従く，一方，常磁性相ではSpinの揺ぎは有限であるが，磁場方向のSpinの揺ぎはある温度で極大値をとる。そのため，吸収係数の第1項から常磁性相にも超音波吸収の山が現われる。

第6章 Tbへの応用

Tbは 228°K と 220°K の狭い温度範囲でのみSpin-Spiral構造を持ち， 220°K 以下では強磁性である。強磁性相では大きな格子ひずみが現われる。この転移は磁歪により引き起されることが知られている。

Treder-Lee-Levyは，Tbの磁化容易面内に磁場を印加し，超音波吸収の実験を行い，次の結果を得た。(i) 温度を常磁性相で一定に保ち，磁場を印加する時，MnPと同じく吸収係数は増加し始め，最大値に達し，さらに磁場を強くすると減少する。(ii) Spin-Spiral相が消失し，均一な常磁性相となる磁場のもとで吸収係数の温度変化を行う時，2つの吸収の山が現われる。

吾々はこれらの実験結果を理解するために，Spin揺動に磁歪の効果を取り入れ吸収係数の計算を行った。その結果，上記(i)については実験との定量的な一致を得た。また，均一相での2つの吸収の山の原因を明らかにした。すなわち，磁場及びそれにより誘起された磁歪がともにSpinの揺ぎの異方性を強め，磁場方向及び磁化容易面内の磁場に垂直な方向のSpinの揺ぎがそれぞれ極大値を持つことにより吸収係数の2つの山が発現する。

以上のように，第2章及び第3章で求められた吸収係数の一般式を使い，今までに提出されている磁気相転移点近傍での超音波吸収に対する磁場効果が統一的に説明された。

特に，MnP及びTbで見出された常磁性相での異常な吸収の山がSpinの揺ぎの変化に対応していることが明らかにされた。従来，超音波吸収の山は磁気相転移点を検出する一方法としても利用されてきたが，このような理論的研究から超音波吸収の山は磁気相転移点だけでなく，Spinの揺ぎの変化を詳細に調べる手段に成り得ることが結論される。

論文審査の結果の要旨

普通，二次磁気相転移点では超音波減衰係数に入型の異常が観測される。この減衰係数の値は外部磁場により種々の変化を受ける。本論文は局在スピンの存在するような金属磁性体に主眼を置き二次磁気相転移点近傍における超音波減衰の磁場効果について理論的研究を行なったものである。

久保の線型応答理論と *decoupling* の近似を用いると，磁場中での音波減衰係数は磁気秩序変数のゆらぎとスピン分極の関数として表わすことができる。磁場により誘起されたスピン分極は減衰係数を増加させる。一方磁場はスピンのゆらぎを抑えるために，スピンのゆらぎだけによる項は減衰係数を減少させる。両者の寄与の大きさは温度，磁場の強さ，及び物質の交換相互作用の性質に依存している。磁性体により磁場によって減衰係数が増加したり，減少したりするのは，その物質の交換相互作用の距離依存性による。今まで種々の磁性体で観測されている音波減衰係数の多様な磁場効果を統一的に説明できることを示した。

平原一小松原一石崎一日下は強磁性体 MnP の磁化困難軸に磁場をかけて超音波減衰係数の測定を行ない，磁気相転移点での減衰係数の山に加えて，常磁性相で異常な減衰係数の山を見出した。この異常な減衰係数の山は磁場方向のスピンのゆらぎに対応していることが本論文で明らかになった。スクリュウ・スピン構造をもつ Tb の磁化容易面内に磁場をかけると，ある磁場の強さ以上でスクリュウ・スピン相は消滅し，常磁性相に変わる。Treder-Lee-Levy は，この強さ以上の磁場のもとで温度に対して2つの減衰係数の山を観測した。理論に大きな磁歪の効果を取り入れることにより，この2つの山は磁場方向及び磁化容易面内の磁場に垂直な方向のスピンのゆらぎに起因することが明らかになった。

以上のように本論文は磁場中のスピンのゆらぎと超音波減衰を関係づけ，種々の実験結果を統一的に説明したものである。又この研究から，超音波減衰の測定により磁性体の交換相互作用に対する知見も得ることができることがわかり，磁性物理学に寄与するところが少なくないと思われる。よって前川禎通提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。